

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Basel
Vorsteher: Prof. Dr. med. et phil. G. Wolf-Heidegger
Arbeit unter Leitung von Prof. Dr. K. S. Ludwig

Beitrag zur Frühentwicklung des Os coxae beim Menschen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Heinrich Samuel Fricker

von Basel und Brugg (AG)

1965



19

66

VERLAG VON S. KARGER IN BASEL

Von der Medizinischen Fakultät Basel
genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. K.S. LUDWIG

—
Tag der Promotion: 4. Mai 1965

Erschienen in «Acta Anatomica», vol. 65, Nr. 4, pp. 522-550 (1966)

Anatomisches Institut der Universität Basel, Schweiz
Vorsteher: Prof. Dr. med. et phil. G. Wolf-Heidegger

**Beitrag zur Frühentwicklung des Os coxae
beim Menschen***

Von HEINRICH S. FRICKER

* Die Arbeit wurde auf Anregung und unter Leitung von Prof. Dr. K. S. Ludwig durchgeführt.

Einleitung

Seit *Bardeen* im Jahre 1905 seine klassische Darstellung der Frühentwicklung des Beckens veröffentlichte, sind außer einer kaum beachteten Arbeit von *Schwarzenbach* [1912] keine, dieses ganze Gebiet zusammenfassenden Arbeiten mehr erschienen. Einzelfragen hingegen wurden seither immer wieder bearbeitet (vgl. *Castellani* [1908], *Adair* [1918], *Frazer* [1920], *Gatta* [1934], *Amprino-Bairati* [1934], *Brockmann* [1942], *Haines* [1947], *Baer* [1949], *Gardner-Gray* [1950], *Franceschini* [1955], *Souri* [1958], *Ulloa* [1962], *Laurenson* [1964]). Doch weichen die Ergebnisse der einzelnen Autoren stark voneinander ab. So ist es verständlich, daß sich die neuesten Lehrbücher der Embryologie nach wie vor auf die Angaben und Illustrationen *Bardeens* [1905] stützen (vgl. *Hamilton-Boyd-Mossman* [1962], *Brandt* [1949], *Patten* [1953]). Wir haben uns deshalb die Aufgabe gestellt, noch einmal die Frühentwicklung des Beckens bis zum Beginn der Verknöcherung genau zu untersuchen. Anschließend wollen wir anhand unserer Befunde die Literaturangaben überprüfen und auf nach wie vor ungeklärte Fragen hinweisen.

Material und Technik

Für unsere Untersuchungen stand uns die umfangreiche Sammlung von Schnittserien menschlicher Embryonen des Basler Anatomischen Instituts zur Verfügung. Die Embryonen sind alle lebensfrisch in Bouin fixiert, in Paraffin eingebettet und zu Serien von 6, 7 oder 8 μ Schnittdicke verarbeitet worden; sie sind, soweit nicht anders angegeben, mit Azan gefärbt. Die meisten Embryonen dieser Sammlung zwischen 9 und 33 mm SSL sind in einer Arbeit von *Ludwig* [1965] aufgezählt. Weiterhin wurden die in Tabelle I erwähnten Embryonen aus der Basler Sammlung in unsere Untersuchungen miteinbezogen, so daß uns insgesamt 61 Embryonen dieser Sammlung zur Verfügung standen.



Tabelle I

Bezeichnung des Embryos	SSL in mm	Schnitttrichtung und Schnittdicke		Färbungen
Bänziger	7	frontal	6 μ	Azan
Embryo 17.5.1951 . . .	8	frontal	6 μ	Azan
KSL 1964	9	sagittal	6 μ	Azan
KSL 1964	9	frontal	6 μ	Azan
Ve 6 7.1.1929	12	sagittal	10 μ	Anthracenblau, Alizarinblau
Embryo 9.11.1949 . . .	34	quer	8 μ	Azan
Embryo 2.6.1951 . . .	38	quer	8 μ	Azan
Riechen 1948	40	quer	8 μ	Azan
Embryo 22.10.1952 . .	40	quer	8 μ	Azan
Embryo 15.12.1949 . .	47	quer	8 μ	Azan

Zusätzlich konnten wir einige operativ gewonnene, in Tabelle II aufgezählte Embryonen für unsere Untersuchungen histologisch verarbeiten. Die Embryonen wurden teilweise *in toto*, teilweise nur ihre unteren Rumpfhälften in Carnoy fixiert und anschließend auf die übliche Weise über Methylbenzoat und Benzol in Paraffin eingebettet. Von den Blöcken wurden lückenlose Schnittserien angefertigt, wobei die Schnittdicke in der Regel 7 μ betrug. Alternierend wurden die Objektträger nach jeweiligen vier Methoden (vgl. Tabelle II) gefärbt. Die in Tabelle II angegebenen Färbungen wurden nach folgenden Vorschriften durchgeführt:

Tabelle II

Bezeichnung des Embryos	SSL in mm	Schnitttrichtung und Schnittdicke		Färbungen
E 254 1964	18	frontal	7 μ	Azan, Alcianblau-Hämalaun, PAS, Methylgrün-Pyronin
E 212 1964	19	quer	7 μ	Azan, Alcianblau-Hämalaun, PAS, Methylgrün-Pyronin
Vogelsperger 1963	21	frontal	7 μ	Glykogen, Methylgrün-Pyronin
1135 1964	25	quer	7 μ	Azan, Alcianblau-Kernechtrot, Gömöri, Methylgrün-Pyronin
1131 1964	40	quer	7 μ	Azan, Methylgrün-Pyronin, Alcianblau-Kernechtrot, Gömöri
1137 1964	46	quer	7 μ	Azan, Gömöri, Alcianblau-Kernechtrot, Methylgrün-Pyronin

1. Azanfärbung nach *Heidenhain* (*Romeis* [1948] § 1489).
2. Alcianblaufärbung nach *Steedman* (*Pearse* [1961] p. 838); die Kerne wurden anschließend mit saurem Hämalaun nach *Mayer* (*Romeis* [1948] § 651) oder mit Kernechtrot (*Romeis* [1948] § 743) gefärbt.

3. Glykogennachweis nach *Bauer* (*Romeis* [1948] § 1104).
4. Methylgrün-Pyronin-Färbung in der Modifikation nach *Schenk* (vgl. *Hell* [1961]).
5. Bindegewebsversilberung nach *Gömöri* (*Romeis* [1948] § 1533).
6. Kalknachweis nach *Kossa*, modifiziert nach *Krutsay* [1963].
7. PAS-Reaktion nach den Angaben von *Lison* [1953] mit anschließender Kernfärbung mit saurem Hämalaun nach *Mayer* (*Romeis* [1948] § 651).

Wir haben davon abgesehen, Rekonstruktionen mit der Wachsplattenmethode nach *Born* anzufertigen, da neuere Untersuchungen mit dieser Methode im Vergleich zu *Bardeen* [1905] keine neuen Einzelheiten brachten (vgl. *Souri* [1958]). Auch glauben wir, daß nur solche Fragen, deren Lösung ein absolut formgetreues, dreidimensionales Bild verlangt, wie z.B. die Frage der Geschlechtsdifferenzen am Knorpelbecken, ein äußerst kompliziertes und zeitraubendes Rekonstruktionsverfahren, wie es von *Blechsmidt* [1956] angegeben wird, rechtfertigen würden. Dies würde allerdings über den Rahmen unseres Themas hinausführen; insbesondere wäre für geschlechtsvergleichende Untersuchungen die Zahl unserer Embryonen zu klein.

Eigene Befunde

a) Die Entwicklung der blastematösen Anlage des Os coxae

Die Knospen der unteren Extremität bilden sich beidseits bei einer SSL von ungefähr 5 mm (Horizont XIII nach *Streeter* [1945]) kaudal vom Ansatz der Nabelschnur. Sie wachsen infolge der sehr starken Schwanzkrümmung in der Longitudinalachse des Embryo kranialwärts. Gleichzeitig zeigen die Somiten eine starke Zellproliferation und beginnen, sich an ihrem ventral-medialen Rande aufzulösen. Durch die Auswanderung von Zellmaterial ändert sich die anfänglich auf Querschnitten dreieckige Gestalt der Somiten. Sie nehmen eine längliche Form an und gliedern sich deutlich in zwei Schichten. Die äußere oder laterale Schicht ist breiter und besteht aus größeren Zellen mit hellerem Cytoplasma und homogenen, länglichen Kernen; die innere besteht aus Zellen, die ovale bis runde Kerne besitzen. Die Somiten sind am ventralen Ende im Bereich der unteren Extremitätenanlage besonders zellreich und ragen in das Blastem hinein, das die Beinknospe erfüllt (Abb. 1). Bei einem Embryo von 8 mm SSL sind mit Ausnahme des dorsalen Anteils die beiden Schichten der Somiten schon weitgehend aufgelöst (Abb. 2). Bei diesem wie auch bei einem Embryo von 10 mm SSL ziehen die Zellstränge des auswandernden Blastemmaterials nicht nur gegen die Chorda dorsalis, sondern ebenso den plumpen Strängen der Spinalnerven entlang in das dichte Blastem, das sich zentral in der unteren Extremitätenknospe findet (Abb. 2, 3). So ist denn zwischen diesem Blastem, das der Anlage des Os coxae respektive des Beinskelets ent-

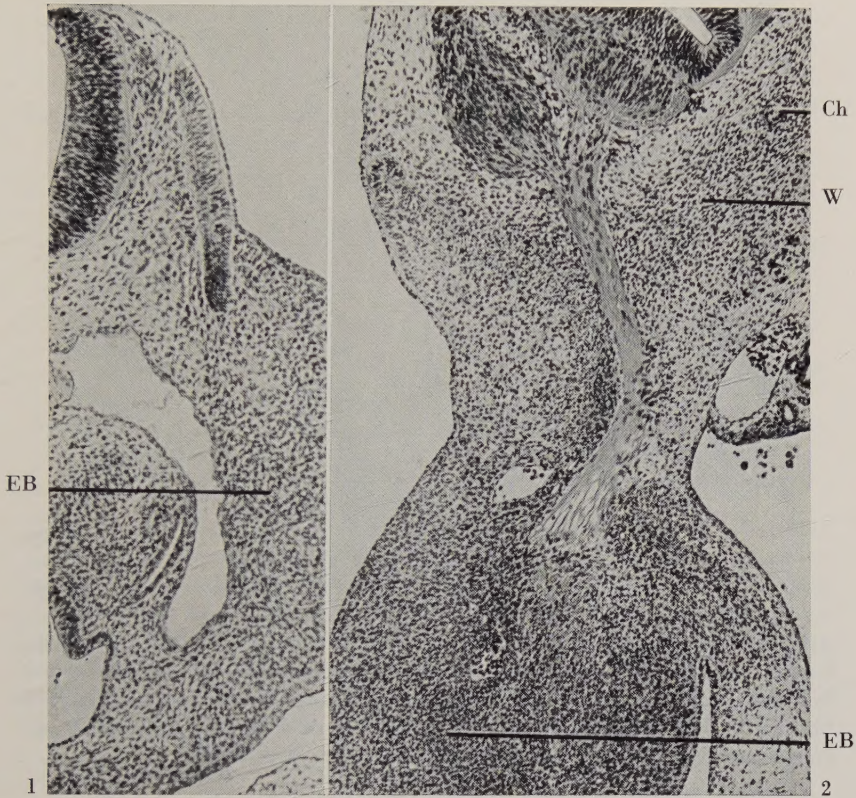


Abb. 1. Embryo Bänziger, 7 mm SSL, frontal, Schnitt 13/5/2, 6μ , Azan, Vergr. $80\times$. – Der Somit besitzt eine längliche Form. Er besteht aus zwei Schichten, deren laterale wesentlich breiter ist. Mit seinem ventralen Ende, das besonders zellreich ist, ragt der Somit in die kaudale Extremitätenknospe hinein, die von einem noch nicht besonders dichten, einheitlichen Blastem (EB) erfüllt ist.

Abb. 2. Embryo Mensch 17.5.1951, 8 mm SSL, frontal, Schnitt 18/4/3, 6μ , Azan, Vergr. $65\times$. – Der Somit hat sich weitgehend aufgelöst. Nur an seinem dorsalen Ende sind noch die in Abb. 1 sichtbaren zwei Schichten zu erkennen. Vom Zellmaterial des aufgelösten Somiten ziehen Blastemstränge zur Wirbelanlage (W), die sich um die Chorda dorsalis (Ch) herum bildet, und dem Nervenstrang entlang in das dichter gewordene Blastem (EB) der kaudalen Extremitätenknospe.

spricht, und der Wirbelsäule von Anfang an eine Verbindung vorhanden, die sich vorerst über mehrere Segmente erstreckt. Wir konnten sie von L_3 bis mindestens S_2 feststellen, können aber nicht sagen, ob sie noch mehr Segmente umfaßt. Bei Embryonen von 12 mm SSL besteht sie allerdings nur noch im Bereich von S_2 (Abb. 4).

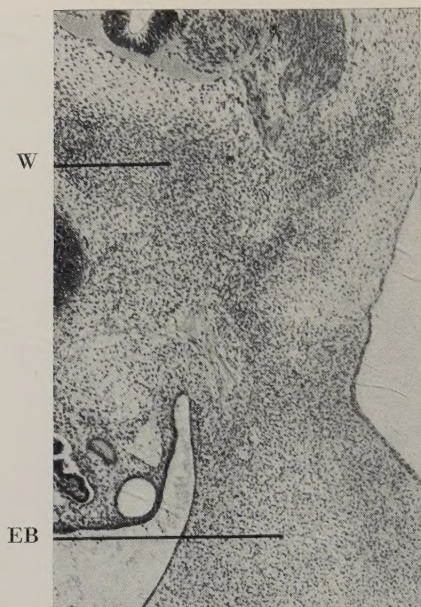


Abb. 3. Embryo Mensch 15.9.1953, 10 mm SSL, frontal, Schnitt 32/6/2, 6 μ , Azan, Vergr. 65 $\times$. – Nur die laterale Schicht des Somiten ist teilweise noch zu erkennen. Die innere Schicht hat sich vollständig aufgelöst und zieht in breiten, zellreichen Blastemsträngen zur schon deutlich ausgebildeten Wirbelanlage (W) und in das Blastemgewebe (EB), das die kaudale Extremitätenanlage erfüllt.

Das Skeletblastem bildet in der Extremität bei ihrem nun rasch erfolgenden Auswachsen einen axialen Strang. Dieser Strang ist am proximalen Ende kugelförmig aufgetrieben und von den Anlagen der drei großen Nervenstränge umgeben (vgl. Abb. 4, 6), die ihre topographische Beziehung zur Beckenanlage während der ganzen Entwicklung beibehalten.

Bei Embryonen von 12 mm SSL grenzen sich in dem proximalen Zellkondensat Femurkopf und Anlage des Os coxae gegeneinander ab. Die Anlage des Os coxae umgibt den Femurkopf kappenförmig (Abb. 5). Auf Sagittalschnitten sind die Anlagen der drei späteren Teile des Os coxae erkennbar (Abb. 6): Die Abstände der Zellen sind in dem dichten Blastem der Anlage des Os coxae an drei Stellen größer geworden; gleichzeitig werden die Kerne dieser Zellen rundlich. Das Auseinanderrücken der Zellen ist durch die Abscheidung einer Interzellulärsubstanz bedingt. Diese selbst wird in diesem frühen Stadium allerdings mit den üblichen Methoden noch nicht ange-

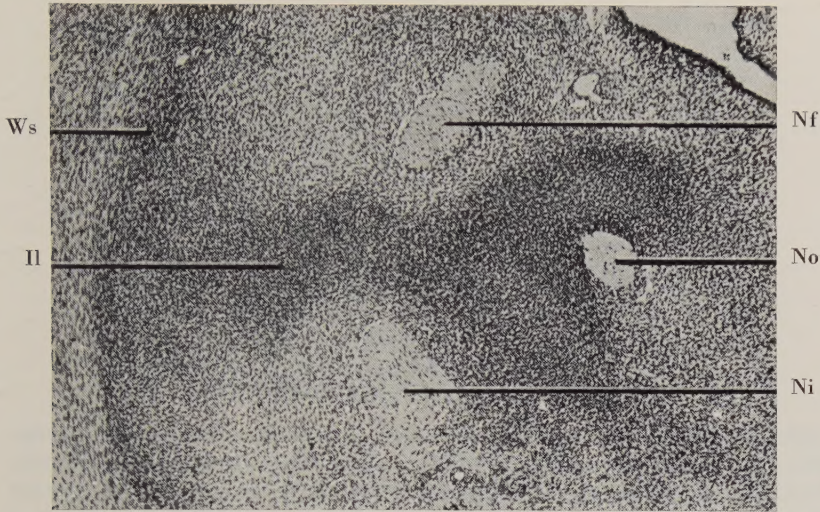


Abb. 4. Embryo Mensch Ve 6 1929, 12 mm SSL, sagittal, Schnitt 25/2/1, 10μ , Anthracenblau-Alizarinblau, Vergr. $50\times$. – Alle drei Teile der blastematösen Anlage des Os coxae sind erkennbar. Die Stränge des N. femoralis (Nf), des N. obturatorius (No) und des N. ischiadicus (Ni) besitzen diejenigen topographischen Beziehungen zur Anlage des Os coxae, die sie im ganzen Lauf der Entwicklung beibehalten werden. Deutlich sichtbar ist der Kontakt, den die Iliumanlage (Il) zur Wirbelsäulenanlage (Ws) aufweist. Aus der Schnittserie dieses Embryos geht hervor, daß sich dieser Kontakt auf Höhe von S_2 befindet.



Abb. 5. Embryo Mensch 8.6.1954, 11 mm SSL, quer, Schnitt 73/4/2, 6μ , Azan, Vergr. $52\times$. – Man erkennt die erste, den Femurkopf (Fk) kappenförmig umgebende Anlage des Os coxae. Die drei Anteile sind bereits unterscheidbar. Auf diesem Schnitt sind die Anlagen des Os ilium (Il) und des Os ischii (Is) dargestellt.

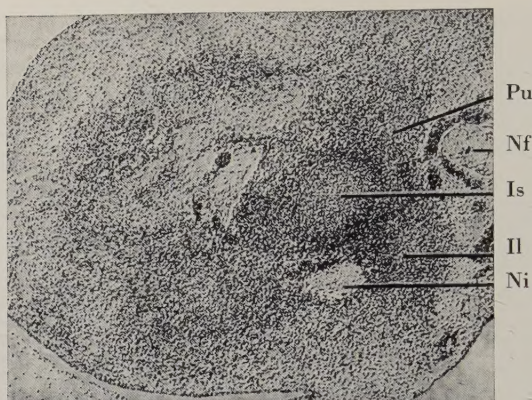


Abb. 6. Embryo Biel 1947, 12 mm SSL, sagittal, Schnitt 24/1/2, 6μ , Azan, Vergr. $40\times$. – Die drei Anteile, das Os ilium (Il), das Os ischii (Is) und das Os pubis (Pu), sind in der Blastemanlage des Os coxae zu erkennen. Der N. femoralis (Nf) und der N. ischiadicus (Ni) sind in ihrer typischen Lagebeziehung zum Os coxae getroffen.

färbt. Läßt sich anfänglich das axiale Blastem der Beinanlage, das offensichtlich bestimmt ist, das Skelet der Extremität zu bilden, vom umgebenden Zellmaterial hauptsächlich durch die dichte Lagerung seiner Zellen und weniger durch die Form der Zellkerne unterscheiden, so treten jetzt die Strukturunterschiede zwischen den aus dem Blastem hervorgehenden Chondroblasten und den umgebenden Myoblasten deutlicher hervor.

Die Anlagen der Ossa pubis et ischii wachsen vom kappenförmigen, die Anlage des Femurkopfs bedeckenden Bildungsmaterial aus, das sich am Ort des späteren Acetabulum findet. Die Iliumanlage steht gleichzeitig durch einen längeren Ausläufer mit dem Blastem der Pars lateralis des Sacrum in Verbindung (vgl. Abb. 4).

b) Die Ausbildung der frühen knorpeligen Anlage des Os coxae

Bei Embryonen von 15 mm SSL ist die Verknorpelung der drei Teile des Os coxae weiter fortgeschritten: Die Blastemzellen sind noch mehr auseinandergerückt. Die Interzellulärsubstanz läßt sich nunmehr anfärben: Im Azanpräparat erscheint sie blau. Dieser Verknorpelungsvorgang beginnt im Gebiet des Acetabulum. Zu diesem Zeitpunkt zeigt der Femurschaft bereits ein Knorpelgewebe im Stadium 2 nach Streeter. Im Verknorpelungsprozeß, in der Knorpelreifung (Streeter [1949]) wie auch in der Verknöcherung eilt er dem Os coxae stets voraus. Sehr rasch wandeln sich die drei Anteile der

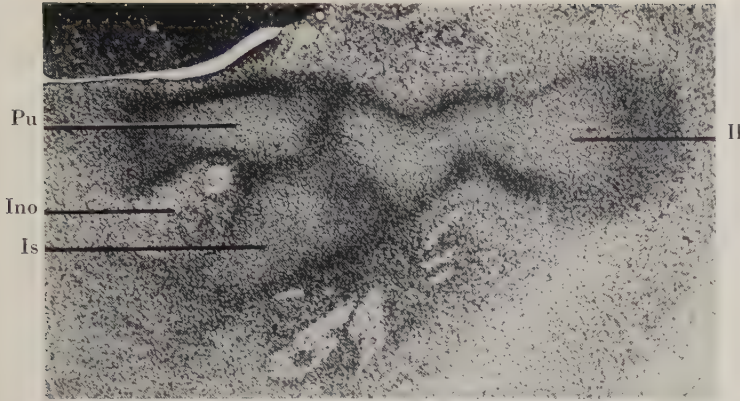


Abb. 7. Embryo Fr.Sp. 1938, 18 mm SSL, sagittal, Schnitt 71/1, 6μ , Azan, Vergr. $32\times$. – Die Anlagen des Os ilium (II), des Os ischii (Is) und des Os pubis (Pu) sind knorpelig, nur an ihrer Oberfläche findet sich noch eine Schicht dichten Blastems, die jetzt als Perichondrium zu bezeichnen ist. Auch im Acetabulum, wo die drei Anteile des Os coxae aneinandergrenzen, sind sie noch durch eine dichte Blastemschicht getrennt, deren Form auf dem sagittalen Schnitt einem umgekehrten Y entspricht. Die Incisura obturatoria (Ino) wird schon weitgehend durch einen Blastemstreifen umschlossen.

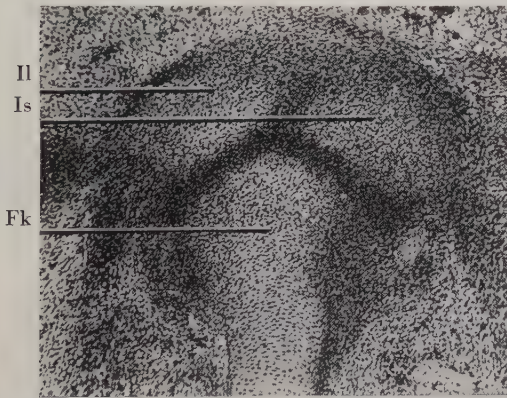


Abb. 8. Embryo M.I.Sp. 1948, 17 mm SSL, quer, Schnitt 120/3/1, 6μ , Azan, Vergr. $52\times$. – Das Acetabulum entspricht einer verhältnismäßig tiefen und dickwandigen Schale, an deren Bildung alle drei Anteile der Knorpelanlage des Os coxae beteiligt sind. Auf diesem Schnitt sind die Anlagen des Os ilium (II) und des Os ischii (Is) sichtbar, die durch ein dichtes Blastem mit dem Femurkopf (Fk) in Verbindung stehen.

Anlage des Os coxae vollständig in Knorpel um. Nur an ihrer Oberfläche bleibt eine schmale Schicht dichtgedrängter Blastemzellen bestehen, die dem Perichondrium entspricht. Die drei Teile des Os coxae bleiben auch am Ort ihres Aneinanderstoßens, d. h. im Bereich des Acetabulum, vorerst getrennt durch einen schmalen Blastemstreifen, dessen Form im Sagittalschnitt einem umgekehrten Y entspricht (Abb. 7). Der Anteil der drei Hüftknorpel an der Bildung des Acetabulum ist jetzt erkennbar; er bleibt während der ganzen Periode des Knorpelbeckens praktisch unverändert und entspricht weitgehend den späteren knöchernen Anteilen. Die knorpeligen Anlagen von Ilium und Pubis treten mehr von kranial her mit dem Femurkopf in Beziehung, während diejenige des Ischii die mediale Seite desselben umgibt, d. h. vorwiegend den Boden der Hüftgelenkspfanne bildet. Dadurch bildet das Acetabulum eine recht tiefe und dickwandige Schale für den Femurkopf (Abb. 8).

Die Anlage des Os ischii reicht anfänglich am weitesten nach medial, während diejenige des Os pubis, in beinahe sagittaler Verlaufsrichtung nach vorne ziehend, etwas weiter lateral liegt. Die Iliumanlage besteht noch aus einer relativ schmalen Spange, die vom Acetabulum her nach dorsal zieht, dann hinter dem Nervus ischiadicus nach kaudal abbiegt, sich etwas verbreitert, um schließlich mit einem schmal auslaufenden Sporn an der Pars lateralis von S_2 zu enden. In diesem Stadium ist die Pars lateralis des Sacrum schon weitgehend einheitlich geworden; immerhin lassen sich die den einzelnen Sakralwirbeln zugeordneten Anteile ohne weiteres unterscheiden. Der obere, breit ausladende Teil der Ala ossis ilium ist erst etwa bei Embryonen von 18 mm SSL deutlich ausgebildet. Im Frontalschnitt ist auch eine der Linea arcuata entsprechende Abknickung zu sehen, die einen nach lateral offenen Winkel von ungefähr 150° einschließt (Abb. 9). Im weiteren Verlauf der Entwicklung des Os coxae wird dieser Winkel noch kleiner.

Zwischen den Stadien von 17 und 20 mm SSL verwachsen zuerst die Knorpelanlagen der Ossa ischii et ilium miteinander (Abb. 10), wenig später auch diejenigen der Ossa pubis et ilium. Zwischen den Anlagen der Ossa pubis et ischii bleibt vorderhand ein blastemgefüllter Einschnitt bestehen.

Die Lage der beidseitigen Knorpelanlagen des Os coxae im embryonalen Körper ist vom Ausmaß der Krümmung des kaudalen Wirbelsäulenteils abhängig. Diese Krümmung ist von Embryo zu Embryo verschieden. Bei in Serien geschnittenen Embryonen sowie

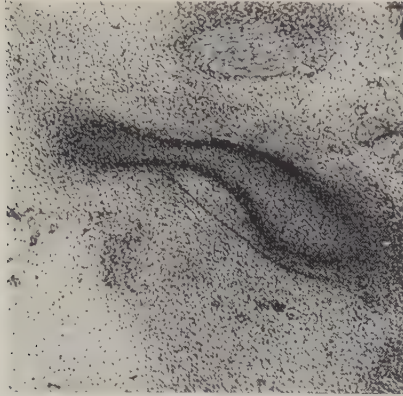


Abb. 9. Embryo M.I. Sp. 1946, 17 mm SSL, frontal, Schnitt 53/2, 6μ , Azan, Vergr. $40\times$. – Dieser infolge der Krümmung des Embryo nicht ganz frontale Schnitt durch die Iliumanlage läßt die Abknickung zwischen dem Corpus und der Ala ossis ilium erkennen.

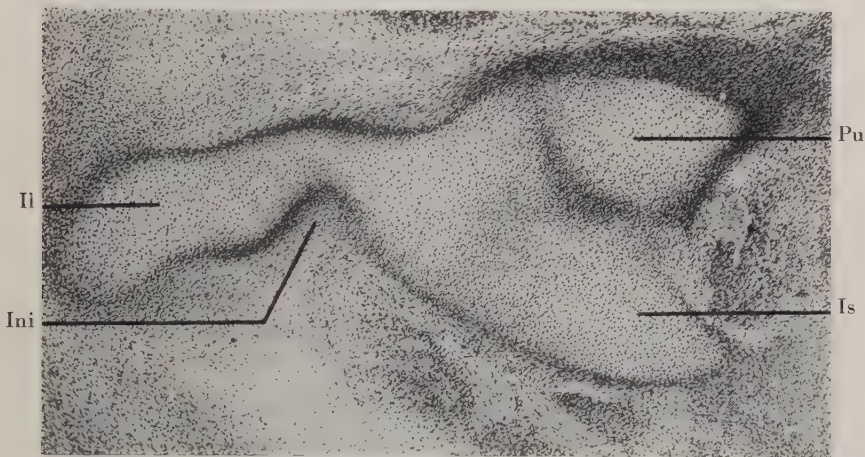


Abb. 10. Embryo Dann 1928, 19 mm SSL, sagittal, Schnitt 71/1/1, 6μ , Azan, Vergr. $50\times$. – Die Knorpelanlagen der Ossa ilium et ischii sind miteinander verwachsen. Hingegen ist die Anlage des Os pubis (Pu) sowohl gegen das Os ilium (Il) als auch gegen das Os ischii (Is) noch durch einen deutlichen Blastemstreifen abgegrenzt.

Man beachte auch die Form der Incisura ischiadica (Ini).

bei überhaupt allen fixierten Embryonen kommt dazu, daß die Fixation und Einbettung ebenfalls das Maß der Krümmung beeinflussen kann. Um die Veränderungen der Lage des Beckens beschreiben zu können, wollen wir die Lage der Beckeneingangsebene betrachten. Sie ist zwar in frühen Stadien nicht präzis bestimmbar, aber ange-

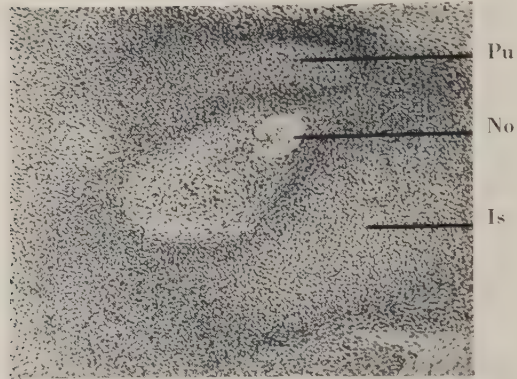


Abb. 11. Embryo Fr.Sp. 1938, 18 mm SSL, sagittal, Schnitt 74/1, 6μ , Azan, Vergr. $50\times$. – Durch einen Blastemstreifen, der den Fortsatz des Os ischii (Is) mit demjenigen des Os pubis (Pu) verbindet, wird das Foramen obturatum nunmehr ganz umschlossen. Durch das Foramen verläuft der N.obturatorius (No).

sichts der ohnehin weiten Fehlergrenze genügt die Genauigkeit für den Vergleich mit späteren Stadien. Bei Embryonen von 12 mm SSL entspricht sie praktisch einer Frontalebene. In diesem Zeitpunkt der Entwicklung ziehen auch die unteren Extremitätenanlagen beinahe in der Longitudinalachse des Embryo kranialwärts (vgl. Abb.6). Bis zum Stadium von 20 mm SSL, wo nun die Beckeneingangsebene anhand der beidseitigen Lineae arcuatae genauer erfaßt werden kann, strecken sich der lumbale Teil und die obere Hälfte des sakralen Teils der Wirbelsäule weitgehend. Damit verbunden ist ein stetiges Nachvorne-Kippen der Anlage des Os coxae. Erst zwischen 25 und 30 mm SSL wird die Beckeneingangsebene eine Transversalebene.

Bei Embryonen zwischen 12 und 15 mm SSL bilden die zwei von den Anlagen der Ossa ischii et pubis ausgehenden Knorpeläste die ventralwärts offene Incisura obturata, in welcher der Nervus obturatorius liegt. Die beiden Knorpeläste verlaufen am Ansatz etwas divergierend, dann praktisch parallel nach ventral. Sie liegen in einer Sagittalebene. Der von der Anlage des Ischii ausgehende Ast wird bald etwas länger und biegt kranialwärts um (*Mehnert* [1889] nannte ihn «Ramus reuniens ischii»). Bei Embryonen zwischen 17 und 20 mm SSL verbindet ein Streifen von dichtem Blastem die Anlage des Ischii und Pubis und schließt damit die Inzisur zum primitiven Foramen obturatum; darin eingeschlossen liegt der Nervus obturatorius (Abb. 11). Zu diesem Zeitpunkt zeigen die sich verlängernden Knorpeläste des Pubis und in geringerem Grade auch

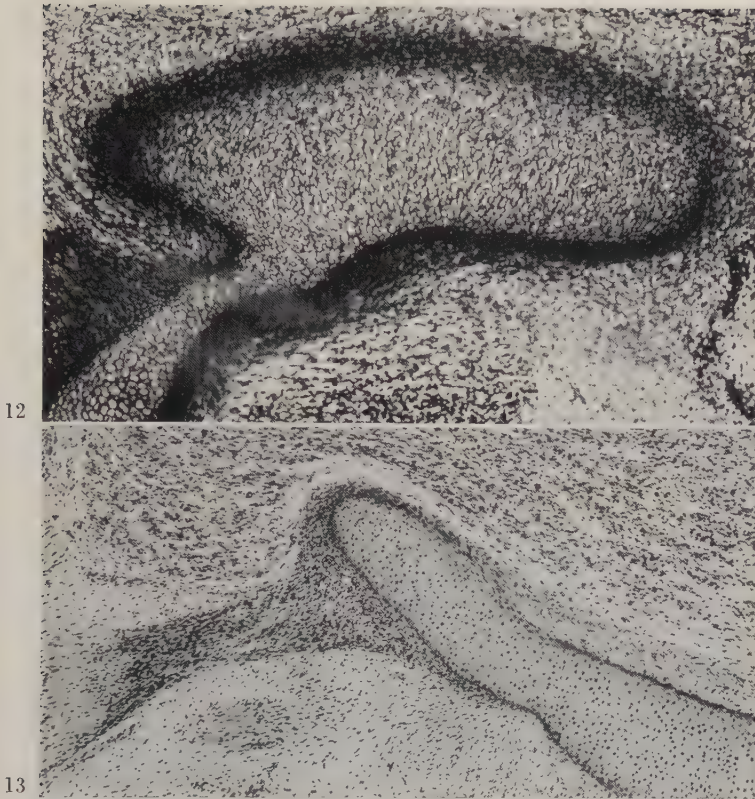


Abb. 12. Embryo 1135/1964, 25 mm SSL, quer, Schnitt 15/5/3, 7μ , Gömöri, Vergr. $80\times$. – Auf diesem Schnitt ist der oberste Teil der Ala ossis ilium schräg getroffen. Die Ala sowie die Spina iliaca ant. sup. bieten daher einen etwas breiten Aspekt. Unter der Spina ist der zum Acetabulum ziehende Teil des Os ilium zu sehen.

Abb. 13. Embryo Egli 1950, 31 mm SSL, quer, Schnitt 644/2/2, 7μ , Azan, Vergr. $50\times$. – Die leicht gegen medial gerichtete Spina iliaca ant. inf. ist an der Einstrahlung der Ursprungssehne des M. rectus femoris zu erkennen.

des Ischii eine zunehmende Biegung gegen ventral-medial zu. Dadurch wird auf beiden Seiten die Ebene des Foramen obturatum schräg gestellt. Die Ebenen beider Foramina, die vorher zueinander parallel standen, bilden jetzt einen nach dorsal offenen, stumpfen Winkel.

Bei Embryonen von 12 mm SSL findet sich als Einbuchtung in die Blastemanlage des Os ilium die Incisura ischiadica primitiva, in welcher der Nervus ischiadicus verläuft. Während die Inzisur bei Embryonen von 15 mm SSL noch weitgehend durch den Nerv

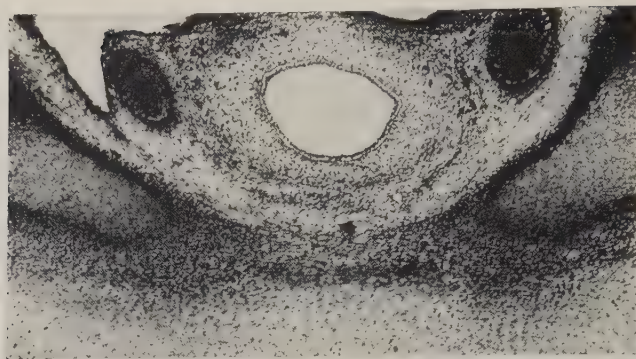
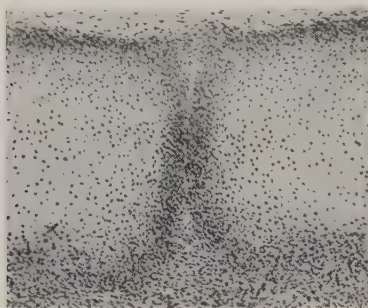
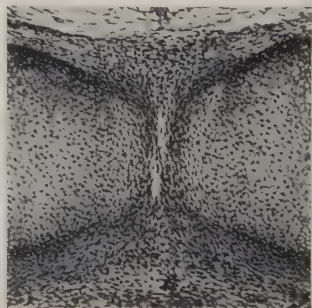


Abb. 14. Embryo 1135/1964, 25 mm SSL, quer, Schnitt 19/2/1, 7μ , Gömöri, Vergr. $50\times$. – Zwischen den beidseitigen Anlagen der Rami superiores pubis verläuft ein leicht gebogenes Band, das der Symphyseanlage entspricht. Der Faserreichtum ist in der Gömörifärbung deutlich zu erkennen.



15



16

Abb. 15. Embryo Mensch 9.11.1949, 34 mm SSL, quer, Schnitt 800/1, 8μ , Azan, Vergr. $65\times$. – Beidseits sind die Rami superiores ossis pubis in den in Abb. 14 sichtbaren Blastemstreifen hineingewachsen und haben sich einander stark genähert. Die Anlage der Symphyse besteht nur noch aus einem schmalen Streifen.

Abb. 16. Embryo Mensch 15.12.1949, 47 mm SSL, quer, Schnitt 1390/2, 8μ , Azan, Vergr. $80\times$. – Die Fasern und die länglichen Zellkerne der Symphyseanlage sind sagittal angeordnet. Dazwischen finden sich mehrfache, kleine, ebenfalls sagittal verlaufende Spalten.

ausgefüllt wird, ist sie bei Embryonen von 20 mm SSL wesentlich weiter geworden als der Durchmesser des Nervs. Die Incisura ischiadica primitiva wird zu diesem Zeitpunkt durch die Bildung der Spina ischiadica in die Incisura ischiadica maior und minor unterteilt. Bei Embryonen von 25 mm SSL zieht der Nervus ischiadicus durch die Incisura ischiadica maior, an der Incisura ischiadica minor

dagegen ist die Anlage der Bursa des *M. obturatorius internus* erstmals nachzuweisen.

c) *Die weitere Ausformung der knorpeligen Anlage des Os coxae*

Bei Embryonen zwischen 20 und 25 mm SSL wird die Form des Os coxae rasch ausgestaltet und beginnt, der Gestalt des späteren knöchernen Os coxae ähnlich zu werden. Die Iliumanlage wächst stark nach kranial und bildet eine seitlich weit ausholende Ala. Die Spina iliaca anterior superior ist als schmaler, ziemlich spitz zulaufender Vorsprung nachzuweisen (Abb. 12). Die Spina iliaca anterior inferior ist an der einstrahlenden Ursprungssehne des *M. rectus femoris* zu erkennen (Abb. 13). Ebenso findet sich die Eminentia iliopectinea sowie das Tuberculum pubicum. Es ist auffällig, daß alle jene Fortsätze am Os coxae, an denen Muskeln oder Bänder ansetzen, früh ausgebildet sind. So sind denn auch am hinteren, nach kaudal ziehenden Teil der Ala ossis ilium zwei zapfenförmige Fortsätze zu finden: Die Spinae iliacae posterior superior et inferior. Der obere Fortsatz ist länger und kann deshalb auch auf queren Schnittserien am weitesten nach kaudal verfolgt werden.

Die Rami superiores pubis sind jetzt beidseits noch stärker gegen medial gebogen und haben sich einander noch mehr genähert. Zwischen ihnen liegt ein leicht gekrümmt verlaufendes Blastemband, das als erste Anlage der Symphyse angesprochen werden kann. Sein Faserreichtum ist im Gömöripräparat gut zu sehen (Abb. 14). In der Folge wachsen die beiden Rami superiores pubis sehr schnell in dieses Blastemband hinein, so daß die Symphysenanlage bei Embryonen von 34 mm SSL nur noch einer sehr dünnen, sagittal gestellten Platte entspricht (Abb. 15). Färbt man die Knorpelgrundsubstanz spezifisch an, so wird deutlich, daß in diesem Stadium (und übrigens auch noch viel später bei 100 mm SSL) das Blastem der Symphyse keine Knorpelsubstanz enthält. Es besteht aus einem Gewebe, das sich in nichts vom übrigen Perichondrium unterscheidet, außer daß seine länglich gestalteten Zellen und die zahlreich vorhandenen Fasern in sagittaler Richtung zwischen den Enden der beiden Knorpelanlagen der Pubisäste angeordnet sind. Im Symphysengewebe können bei etwas späteren Stadien (ab 40 mm SSL) auf Schnitten leicht kleine, ebenfalls in sagittaler Richtung verlaufende, zwischen den Fasern liegende Spalträume entstehen (Abb. 16).

Das Foramen obturatum wird nunmehr vollständig durch die knorpeligen Äste der Ossa ischii et pubis umschlossen. Es findet sich



Abb. 17. Embryo 1131/1964, 40 mm SSL, quer, Schnitt 15/4/3, 7 μ , Gömöri, Vergr. 65 $\times$. – Die Gömörifärbung läßt zwischen den Knorpelanlagen des Ramus inferior ossis pubis und der des Corpus ossis ischii eine zarte Fasermembran erkennen. Diese Anlage der Membrana obturatoria liegt zwischen den Mm.obturatorii int. et ext.

vorläufig noch kein Gewebsmaterial, das als Membrana obturatoria angesprochen werden könnte. Die Anlage des Os ischii stellt den massivsten der drei Knorpel des Os coxae dar, gegen medial wird sie durch das Pubis merklich überragt.

Bei Embryonen zwischen 25 und 40 mm SSL wächst die Anlage des Os coxae schnell weiter; die drei knorpeligen Anteile werden massiver und ihre Form immer differenzierter ausgestaltet. Am kranialen Rand der Incisura ischiadica maior, dem Ort, wo die Ossifikation der Iliumanlage beginnt, findet sich zuerst eine Reifung des Knorpels im Sinne der Streeterschen Stadien: Bis zu einer SSL von 22 mm das Stadium 1, bei einer SSL von 23 mm das Stadium 2, bei einer SSL von 27 mm das Stadium 3, bei einer SSL von 30–31 mm das Stadium 4, bei einer SSL von 33–35 mm das Stadium 5. In diesem Zeitpunkt beginnt auch die Ossifikation. In der Anlage des Os ischii ist bei Embryonen von 40 mm SSL die Reifung des Knorpels noch nicht über das Stadium 1 hinausgelangt, in derjenigen des Os pubis findet sich der Übergang in Stadium 2. Nunmehr kann auch die Anlage der Membrana obturatoria als eine zarte Fasermembran dargestellt werden, die in der Gömörifärbung gut zu sehen ist (Abb. 17). Beim Stadium von 40 mm SSL kommt das Os coxae in allen Teilen der definitiven Form sehr nahe.

d) Die Entwicklung des knorpiligen Acetabulum und der Gelenkverbindungen des Os coxae

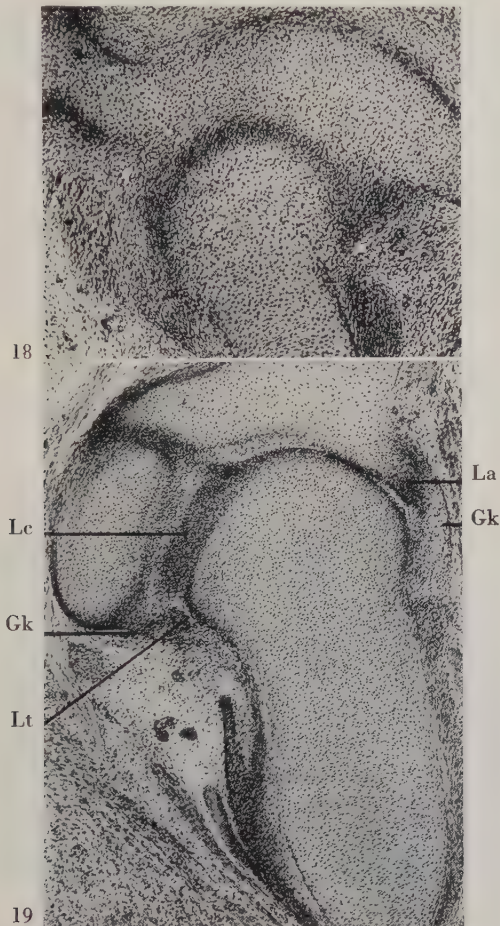


Abb. 18. Embryo Biel 1951, 20 mm SSL, quer, Schnitt 233/4/2, 6 μ , Azan, Vergr. 50 $\times$. – Das Acetabulum und der Femurkopf sind durch ein dichtes, streifenförmiges Blastem verbunden, das noch keine Differenzierung erkennen läßt.

Abb. 19. Embryo Gengenbach, 29 mm SSL, quer, Schnitt 427/1/2, 7 μ , Azan, Vergr. 38 $\times$. – Auf dem Schnitt durch die Fossa acetabuli ist die Anlage der Gelenkkapsel (Gk) deutlich vom Labrum acetabulare (La) getrennt. Das Ligamentum transversum acetabuli (Lt) überbrückt die Incisura acetabuli. Von diesem Band aus zieht als dichter Blastemstreifen das Lig. capitis femoris (Lc) zum Femurkopf. Im Bereich der Fossa acetabuli ist ein knorpelfreier, mit Blastemgewebe gefüllter Kanal zwischen Os pubis und Os ischii zu sehen. Unter dem Dach des Acetabulum findet sich die erste Bildung des Gelenkspaltes.

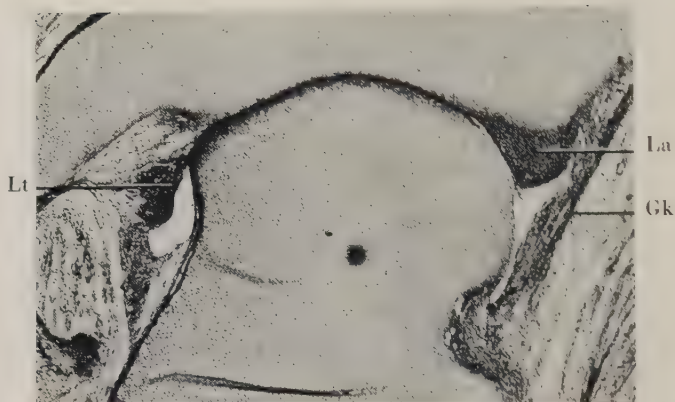


Abb. 20. Embryo 1137/1964, 46 mm SSL, quer, Schnitt 42/1/1, 7μ , Gömöri, Vergr. $38\times$. – Die Gömörifärbung läßt die Gelenkkapsel (Gk) klar hervortreten. Rechts vom Femurkopf ist das Labrum acetabulare (La) mit seinem ausgesprochenen Faserreichtum sichtbar. Links vom Femurkopf ist die Incisura acetabuli getroffen, in deren Bereich das Labrum in das Lig.transversum acetabuli (Lt) übergeht.

Beide Bildungen zeigen die gleiche histologische Struktur.

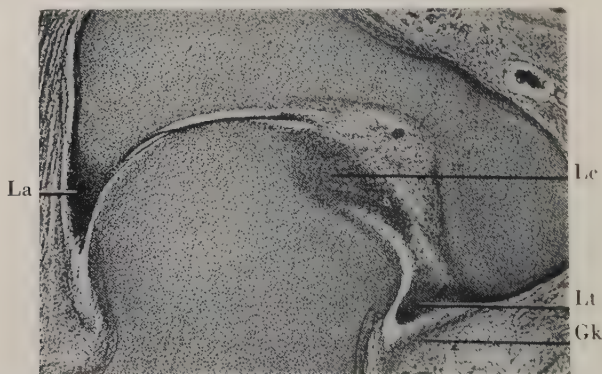


Abb. 21. Embryo Mensch 15.12.1949, 47 mm SSL, quer, Schnitt 1385/1, 8μ , Azan, Vergr. $30\times$. – Die verschiedenen Anteile des Hüftgelenks sind weitgehend differenziert. Umgrenzt von der Gelenkkapsel (Gk) ist die Gelenkhöhle allseits ausgebildet. Das Labrum acetabulare (La) geht in das Lig.transversum acetabuli (Lt) über. Von diesem Ligament zieht als breites Band das Lig.capitis femoris (Lc) zum Femurkopf. Die Fossa acetabuli ist von lockerem, gefäßhaltigem Gewebe erfüllt, das sich zum Teil dem Lig.capitis femoris anschließt.

Bei Embryonen von 20 mm SSL liegt zwischen Femurkopf und Os coxae im Bereich des späteren Hüftgelenks noch ein undifferenziertes Blastem (Abb.18). Bei Embryonen zwischen 25 und 30 mm SSL erfährt es ziemlich rasch eine weitgehende Differenzierung und

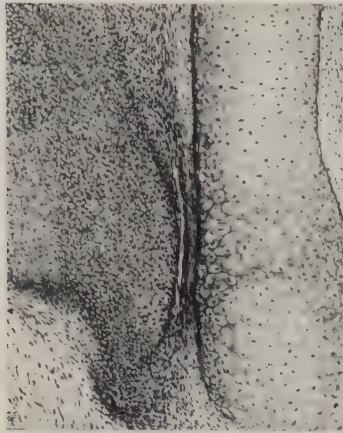


Abb.22. Embryo Egli 1950, 31 mm SSL, quer, Schnitt 661/3/2, 7 μ , Azan, Vergr. 60 $\times$. – Zwischen der Ala ossis ilium (rechts im Bild) und der Anlage der Pars lateralis des Os sacrum ist der Gelenkspalt der Articulatio sacroiliaca zu erkennen.

Abgrenzung der einzelnen Bestandteile (Abb.19). Am kranialen und dorsalen Umfang des Femurkopfs bildet sich der Gelenkspalt zuerst aus. Die Gelenkkapsel setzt am Rand des Acetabulum an. Unabhängig davon findet sich weiter innen am Acetabulum als rundherum angelegtes Gebilde das Labrum acetabulare (Abb.19, 20). In der Methylgrün-Pyronin-Färbung zeigt es im Gegensatz zum hyalinen Knorpel der übrigen Anlage des Os coxae keine Metachromasie der Interzellulärsubstanz, hingegen weist es einen ausgeprägten Reichtum an Fasern auf, der in der Gömörifärbung deutlich hervortritt (Abb.20). Das faserknorpelige Labrum acetabulare unterscheidet sich also von Anfang an eindeutig von den übrigen hyalinkorpligen Skeletstücken. Die Anlagen der Ossa ischii et pubis verwachsen zunächst nicht, sondern lassen zwischen sich einen blastemgefüllten Einschnitt bestehen (vgl. Abb.10). Bis zum Stadium von 30 mm SSL verwachsen die beiden Knorpel in einer schmalen Zone, die auf der vom Gelenk abgewandten Seite, also gegen das Beckeninnere liegt. In der Mitte des Acetabulum bleibt allerdings noch längere Zeit ein knorpelfreies, mit Perichondrium gefülltes Loch bestehen (vgl. Abb.19). Auf der Seite gegen den Femurkopf zu findet sich eine breitere Ausbuchtung, die mit lockerem Mesenchym gefüllt ist; sie entspricht der Incisura et Fossa acetabuli. Das Labrum acetabulare überbrückt die Inzisur als Ligamentum transversum acetabuli (Abb.20, 21). Von diesem Band her zieht das Ligamentum capitis femoris zum

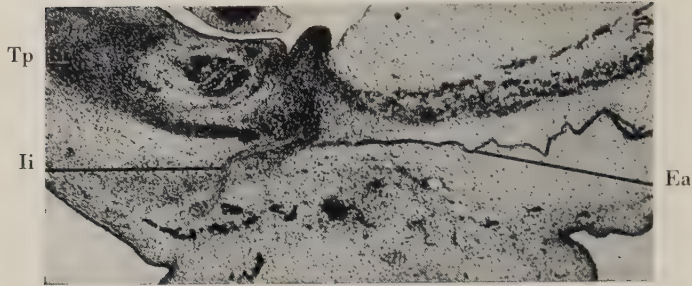


Abb. 23. Embryo Gegenbach, 29 mm SSL, quer, Schnitt 413/2/2, 7 μ , Azan, Vergr. 24 $\times$. – Die äußerste Schicht der Bauchmuskulanlage bildet einen dünnen, dichten Gewebestreifen, die Externusaponeurose (Ea). Der kaudale Rand dieser Aponeurose bildet das Lig. inguinale und verbindet sich medial mit dem Tuberculum pubicum (Tp), von welchem hier nur die oberste Perichondriumsschicht sichtbar ist. Die Aponeurose wird in ihrer medialen Hälfte im Bereich des äußeren Leistenrings vom Gubernaculum testis und dem N. ilioinguinalis (Ii) durchbohrt.

Femurkopf. Zur gleichen Stelle am Femurkopf zieht von der oben beschriebenen Einbuchtung her kommend ein schmaler Streifen dichter Mesenchymgewebes. Hiemit ist der Bau dieses Ligaments in den wesentlichen Zügen festgelegt (Abb. 21). Das Labrum acetabulare, das Ligamentum transversum acetabuli wie auch das Ligamentum capitis femoris sind in ihrer histologischen Struktur weitgehend ähnlich (vgl. Abb. 20, 21).

Der Gelenkspalt der Articulatio sacroiliaca tritt erstmals bei Embryonen von 31 mm SSL auf (Abb. 22). Dorsal von diesem Gelenk sind die schon in früheren Stadien vorhandenen Anlagen der großen Bandmassen zu sehen, die von der Spina iliaca posterior superior und vom hinteren Rand der Ala ossis ilium an die Hinterfläche des Sacrum ziehen.

e) Die Entwicklung des Ligamentum inguinale

Da Bardeen [1905] das Ligamentum inguinale seiner Herkunft nach als Teil der Anlage des Os coxae betrachtet, müssen wir auch kurz auf die Entwicklung dieses Ligaments eingehen.

Der ventrale Teil der dreischichtigen Bauchmuskulanlage ist erst bei Embryonen von 20 mm SSL deutlich zu sehen. Er dehnt sich rasch gegen kaudal und ventral aus. In der äußersten Schicht des kaudalen Teils wird in diesem Stadium die Aponeurose des M. obliquus abdominis ext. gebildet. Auf queren Schnittserien ist diese Aponeurose als sehr schmaler, dichter Gewebestreifen nachweisbar (Abb. 23). Ihr kaudaler freier Rand bildet das Ligamentum inguinale

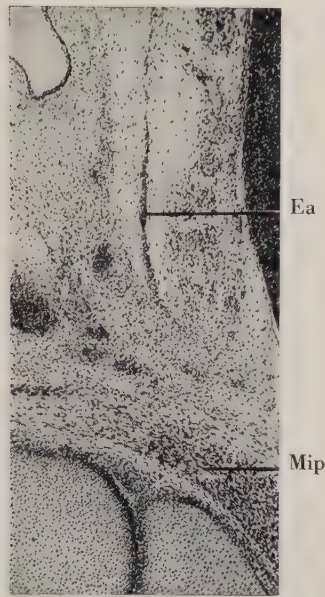


Abb. 24. Embryo Sellheim 1944, 26 mm SSL, sagittal, Schnitt 150/1, 8μ , Azan, Vergr. $38\times$. – Die Externusaponeurose (Ea) erscheint auch auf dem Sagittalschnitt als schmaler Streifen. Deutlich sichtbar bildet sie kaudal einen freien Rand, der über der Anlage des M. iliopsoas (Mip) liegt. Dieser freie Rand der Externusaponeurose bildet die Anlage des Ligamentum inguinale, mit dem sich die beiden inneren Schichten der Bauchmuskulatur teilweise verbinden.

in folgender Weise (Abb. 23, 24): Medial verbindet sich der freie Rand der Aponeurose im Stadium von 20 bis 22 mm SSL mit dem noch lockeren Blastem, das zwischen den beiden Anlagen der Ossa pubis liegt. Weiter lateral besteht in diesem Stadium noch keine Verbindung mit der Iliumanlage. Erst bei Embryonen von 30 mm SSL und mehr treten die lateral liegenden Teile der Bauchmuskulanlage und damit auch die Aponeurose in Kontakt mit der Iliumanlage. Durch die Insertion am Ramus superior ossis pubis und an der Spina iliaca anterior superior bildet somit der untere Rand der Aponeurose das Ligamentum inguinale. Im untersten Teil der medialen Hälfte wird dieses Ligament vom Gubernaculum testis und vom Nervus ilioinguinalis durchbohrt (vgl. Abb. 23).

Diskussion

Auf Grund unserer Befunde bei Stadien von 5 bis 12 mm SSL ist es wahrscheinlich, daß das Blastemmaterial für das Hüft- und

Beinskelet zumindest teilweise aus den Somiten stammt. Die heute allgemein vertretene Auffassung (vgl. *Hamilton-Boyd-Mossman* [1962], *Theiler* [1957]), wonach die zuerst aus den Somiten auswandernden Zellen das ganze Sklerotom darstellen und allein an der Bildung der Wirbelsäule beteiligt sein sollen, scheint uns unwahrscheinlich. Bei der länglichen, zweischichtigen Gestalt, die der Somit nach dem Auswandern dieser Zellen annimmt, ist es sehr fraglich, ob die innere Schicht tatsächlich nur aus Myotomzellen besteht. Jedenfalls ist zu diesem Zeitpunkt eine Unterscheidung der Zellen in Myoblasten und Chondroblasten an den Somiten auf Höhe der unteren Extremitätenanlage nicht möglich. Solange nicht mit histochemischen Methoden Differenzen im Fermentmuster dieser zwei Zellarten festgestellt sind, ist es unseres Erachtens nicht angebracht, eine endgültige Zuordnung in frühen Stadien vorzunehmen. Unsere Befunde sprechen auch deutlich gegen eine ganz isolierte Entstehung der Anlage des Os coxae und deren sekundäre Kontaktnahme mit der Wirbelsäule, ein Vorgang, wie er von *Petersen* [1893], *Hagen* [1900], *Bardeen* [1905] und *Schwarzenbach* [1912] dargestellt wird. Da uns für diese Stadien nicht eine genügende Anzahl von Embryonen in Schnittserien zur Verfügung stand, können wir allerdings keine abschließende Aussage über die Herkunft des Skeletblastems für Hüft- und Beinanlage machen. Die Frage, ob das Bildungsmaterial nur aus den Somiten stammt oder ob es auch zusätzlich autochton in der Extremitätenknospe entsteht, müssen wir weiterhin offen lassen.

Wie wir bei der Beschreibung unserer Befunde dargelegt haben, kann vor dem Stadium von 12 mm SSL die Anlage des Os coxae nicht eindeutig einem bestimmten Wirbelsäulensegment zugeordnet werden. Bei so jungen Embryonen beginnt die Schwanzkrümmung der Wirbelsäule schon im Lumbalteil und erstreckt sich bis an ihr kaudales Ende. Die Anlage des Os coxae liegt ungefähr im Krümmungsmittelpunkt der Lumbal- und Sakralwirbelsäule und weist zu den Segmenten L_3 bis S_2 sozusagen den gleichen Abstand auf. Weiterhin steht in diesem Zeitpunkt die Anlage des Os coxae durch Blastemstränge in Verbindung mit den blastematösen Wirbeln von L_3 bis S_2 , eventuell noch weiter kaudalwärts. Es ist deshalb eigentlich müßig, in diesen Stadien das Becken einer bestimmten Wirbelhöhe zuordnen zu wollen. Im Gegensatz zu unseren Befunden findet sich in den instruktiven Illustrationen der Arbeit *Bardeen's* [1905] die Anlage des Os coxae beim Stadium von 9 mm SSL auf Höhe von L_3 ,

bei 11 mm SSL auf Höhe von L_{4-5} ; bei 14 mm SSL steht sie durch ein dichtzelliges Blastem in breiter Verbindung mit S_{1-3} , der Pars lateralis des Sacrum, die eine einheitliche Masse darstellt. *Brockmann* [1942] gibt in Übereinstimmung mit *Bardeen* [1905] an, daß die Anlage des Os coxae im Laufe der frühen Entwicklung einen Descensus von L_3 bis nach S_1 – S_2 durchmache. Aus unseren Befunden geht nun aber eindeutig hervor, daß sich beim Stadium von 12 mm SSL die vorher breite Verbindung der Iliumanlage mit mehreren Wirbeln verschmälert hat und diese nur noch mit dem 2. Sakralwirbel in Kontakt steht. Von einem Descensus kann deshalb nicht gesprochen werden. Erst bei Embryonen von 15 bis 17 mm SSL verbreitert sich die Verbindung wieder, vorerst kranialwärts bis S_1 , später auch kaudalwärts bis S_3 . In diesem Zusammenhang erwähnen wir *Rosenberg* [1876 a], der angibt, daß sich die Anlage des Os coxae an der Wirbelsäule um einen Wirbel nach oben verschiebe, und zwar von S_2 nach S_1 . *Petersen* [1893] und später *Schwarzenbach* [1912] bestätigten diese Beobachtung. *Schwarzenbach* [1912] nahm allerdings an, daß im «Vorknorpelstadium» bei ungefähr 10 mm SSL eine Verschiebung in der umgekehrten Richtung vorausgehe. *Hagen* [1900] gibt im Gegensatz zur Feststellung *Rosenbergs* [1876 a] und *Petersens* [1893] und in Übereinstimmung mit unseren Befunden an, daß die Iliumanlage zuerst mit S_2 in Verbindung steht und später auch mit S_1 in Kontakt tritt, so daß die Verschiebung nur eine scheinbare ist.

Die drei Nervenstränge, welche die Anlage des Os coxae umgeben, liegen dieser im Beginn ihrer Entwicklung unmittelbar an. Sehr bald aber werden sie durch einen Streifen lockeren Mesenchyms vom Hüftblastem getrennt. Wir glauben deshalb nicht, daß die Nervenstränge einen wesentlichen formgebenden Einfluß auf die Anlage des Os coxae besitzen, wie er ihnen seit *Petersen* [1893] zugeschrieben wird. Im letzteren Fall wäre zu erwarten, daß die Incisura ischiadica unter dem formenden Einfluß des Nervus ischiadicus eine der Kontur des Nervs entsprechende rundliche Form erhalten müßte. Diese Inzisur ist aber am Knorpelbecken nach oben spitz zulaufend ausgebildet.

Im Blastem des Os coxae treten drei unabhängige Knorpelteile auf: Die Anlagen des Os ilium, Os ischii und Os pubis. Auf einem Sagittalschnitt lassen sie sich mühelos darstellen. *Laurenson* [1964] veröffentlichte erstmals einen entsprechenden photographischen Beleg. Zwischen den Anlagen der Ossa ilium et ischii verschwindet der trennende Blastemstreifen sehr rasch und die beiden Knorpel-

anlagen verwachsen miteinander. Die Anlagen von Ilium und Pubis verwachsen wenig später, während zwischen Pubis und Ischii noch längere Zeit ein blastemgefüllter Einschnitt bestehen bleibt. *Mehner* [1889] hat als erster auf Grund einiger Beobachtungen angenommen, daß das Os coxae bei allen Säugern in drei getrennten knorpeligen Teilen angelegt wird. *Petersen* [1893] wie auch *Hagen* [1900] und *Bardeen* [1905] bestätigten diesen Sachverhalt beim menschlichen Embryo. Die ursprünglich geltende Vorstellung, daß die Knorpelanlage des Os coxae als einheitliche Platte angelegt werde, hatte schon durch die Untersuchungen *Rosenbergs* [1876b] ihre Gültigkeit verloren. Er hatte einen Embryo untersucht, bei dem die Knorpelanlagen der Ossa ilium et ischii schon zusammengewachsen waren. Daraus hatte er geschlossen, daß das Os coxae anfänglich aus zwei Knorpelteilen besteht, der Anlage des Os pubis und der gemeinsamen Anlage der Ossa ilium et ischii. *Schwarzenbach* [1912], auf den in neuester Zeit *Kaufmann* [1965] wegen seiner Angaben über die Genese einzelner Beckenmißbildungen zurückgegriffen hat und der im internationalen Schrifttum lange unbeachtet geblieben war, kam in seiner Arbeit auf Grund zahlreicher Rekonstruktionen zur gleichen Auffassung wie *Rosenberg* [1876b] und lehnte die Ergebnisse *Petersens* [1893] ab. Unter den Embryonen, die *Schwarzenbach* [1912] rekonstruierte, befand sich keiner in jenem kurzdauernden Stadium, in welchem alle drei Teile sichtbar sind.

Die frühesten histogenetischen Erscheinungsformen des hyalinen Knorpels wurden bis heute noch nicht genau erfaßt und klar definiert. In der Literatur wird meist von «Vorknorpel» gesprochen (vgl. *Petersen* [1893], *Schaffer* [1930]), oft werden auch andere, ähnliche Begriffe verwendet. *Laurenson* [1964] spricht zum Beispiel von «hochdifferenzierten Mesoblasten» noch im Stadium von 16 mm SSL. Bei unseren Embryonen dieses Stadiums waren im Zentrum des Blastems die Zellen schon deutlich auseinandergerückt und zwischen ihnen fand sich eine basophile Zwischensubstanz. Da das Knorpelgewebe durch seine Interzellulärschubstanz charakterisiert ist, halten wir uns an die Definition von *Schwarzenbach* [1912]: «Sobald die Zellen infolge Ausscheidung der hyalinen Zwischensubstanz deutlich auseinandergerückt sind, nenne ich das Gewebe Knorpel.» Die weitere Knorpelentwicklung und -reifung hat *Streeter* [1949] am Humerus untersucht und in fünf Stadien eingeteilt. Die gleichen Stadien der Knorpelreifung fand *Laurenson* [1964] auch am Os ilium. Er nahm ebenfalls an, daß sich die einzelnen Stadien gleich wie am

Humerus in gesetzmäßiger Weise über das knorpelige Skeletstück ausbreiten. Unsere Befunde bestätigen in dieser Beziehung seine Angaben. Dagegen gibt *Laurenson* [1964] an, daß die Verknöcherung des Os ilium und auch der anderen Teile des Os coxae jeweils am gleichen Ort beginne, an welchem die Verknorpelungsprozesse zuerst einsetzen. Unsere eigenen Untersuchungen haben nun aber gezeigt, daß das Os coxae im Zeitpunkt des Beginns der Verknorpelung, d. h. bei Embryonen von 12 bis 15 mm SSL, noch eine sehr rudimentäre Form aufweist und daß der Verknorpelungsprozeß des Os coxae in jenem Abschnitt der drei Anteile seinen Anfang nimmt, der an der Bildung des Acetabulum beteiligt ist. Dagegen beginnt die Verknöcherung im Os ilium am hinteren und oberen Rand der Incisura ischiadica maior, im Os pubis am Ramus superior und im Os ischii am Ramus ossis ischii, also entgegen den Angaben von *Laurenson* [1964] nicht am Ort des Beginns der Knorpelbildung. Schon beim Ossifikationsbeginn im Os ilium ist das Os coxae wesentlich differenzierter ausgestaltet als zur Zeit der Verknorpelung, noch mehr gilt dies für die Ossa pubis et ischii, die erst bei einer SSL von mehr als 100 mm zu verknöchern beginnen.

Baer [1949] gibt an, daß die erstmals von *Luschka* [1854] beschriebenen Spaltbildungen in der Symphyse schon in der 10. Embryonalwoche angelegt seien. Auch wir haben bei Embryonen von 40 mm SSL an solche Spalträume gefunden. Zu diesem Zeitpunkt sind in der Symphysenanlage sowohl die Fasern als auch die länglichen Zellkerne in sagittaler Verlaufsrichtung angeordnet. Multiple kleine, sagittale Spalten können deshalb zwischen den Faserbündeln beim Fixieren, Einbetten und Schneiden der Präparate leicht entstehen. An unserem Material gewannen wir jedenfalls den Eindruck, daß es sich um Artefakte handelt.

Bardeen [1905] und *Adair* [1918] beschrieben die Ausgestaltung des Acetabulum in folgender Weise: Bis etwa zum Stadium von 15 mm SSL wird das Acetabulum durch ein dichtes, noch nicht verknorpeltes Blastem gebildet. Zwischen 15 und 20 mm SSL schicken die drei Beckenknorpel einen platten Knorpelfortsatz über den Femurkopf, wodurch eine seichte, dünnwandige Hüftgelenkpfanne gebildet wird, die sich erst viel später vertieft. Nach unseren Befunden dagegen bildet das Acetabulum den Ausgangspunkt der knorpeligen Entwicklung des Os coxae und weist in einem sehr frühen Stadium schon eine verhältnismäßig tiefe, dickwandige Form auf. Die Angabe von *Gegenbaur* [1876] und *Frazer* [1920], das Os pubis

beteilige sich nicht an der Bildung des Acetabulum, trifft nach unseren Befunden nicht zu.

Im Gegensatz zu *Castellani* [1907] fanden wir bei 40 mm SSL ein vollständig durch knorpelige Skeletteile umschlossenes Foramen obturatum mit einer noch zarten, aber deutlichen Anlage der Membrana obturatoria.

In den Illustrationen *Bardeens* [1905] zur Beckenentwicklung wird beim Embryo von 14 mm SSL das Ligamentum inguinale als relativ massives Band dargestellt, das Spina iliaca ant.sup. und Tuberculum pubicum verbindet. *Bardeen* [1905] gibt auch an, daß sich das Ligamentum inguinale als Teil des Beckenblastems bilde, um später der Abdominalmuskulatur als Anheftungsstelle zu dienen. In unseren Schnittserien konnten wir keine derartige, von der Beckenanlage ausgehende Bildung nachweisen. Der kaudale Teil der äußersten Schicht der Bauchmuskelanlage, die hier als Aponeurose ausgebildet ist, imponiert auf Querschnitten als schmales Band. Dadurch, daß diese Aponeurose zwischen 25 und 35 mm SSL mit dem Tuberculum pubicum und der Spina iliaca ant.sup. Verbindungen erhält, entsteht das Ligamentum inguinale. Dieses Band ist also entwicklungsgeschichtlich der kaudale Randabschnitt der Externusaponeurose und nicht ein Derivat der Beckenanlage. In Übereinstimmung damit kam auch *Winckler* [1949, 1958] anhand von makroskopischen Untersuchungen an Erwachsenen zur Feststellung, daß das Ligamentum inguinale nicht eine selbständige Bildung, d.h. eine Syndesmose des Os coxae, sondern ein Bestandteil der Bauchmuskelaponeurosen ist.

Über Natur und Eigenart der formgebenden Einwirkungen auf die Entwicklung des Os coxae wurde um die Jahrhundertwende eine Reihe von Hypothesen aufgestellt. So wurde ein Einfluß auf die Beckenform durch folgende Momente angenommen: Rumpflast, Leberdruck, Muskelzug, Schenkelgegendruck, kraniokaudales Entwicklungsgefälle (vgl. *Veit* [1883], *Petersen* [1893], *Brockmann* [1942]). Dagegen hat schon *Fehling* [1876] richtig beobachtet, daß die Form des Beckens, abgesehen von kleinen Einzelheiten, sehr früh dem definitiven Zustand nahekommt, bevor alle diese postulierten Gestaltungskräfte überhaupt einwirken können. Unsere eigenen Befunde ergaben, daß alle jene Fortsätze am Becken, an denen Muskulatur oder Bänder ansetzen, schon bei Embryonen von 25 bis 30 mm SSL deutlich ausgebildet sind, also zu einem Zeitpunkt, in dem noch keine mechanischen Kräfte wirksam sein können. Von

den Feststellungen *Fehlings* [1876] ausgehend, entwickelte *Bernays* [1878] die Idee, daß die Entwicklung der Form genetisch festgelegt ist. Ähnliches postulierte *Schwarzenbach* [1912]. Auf Grund unserer Befunde schließen wir uns der Auffassung dieser Autoren an. Die Gültigkeit dieser Feststellungen wird für die Periode des Knorpelbeckens auch durch die Arbeit von *Brockmann* [1942], der in neuerer Zeit wieder eine umfangreiche Theorie über die formgebende Einwirkung mechanischer Faktoren auf die Gestalt der Beckenanlage verfocht, in keiner Weise eingeschränkt.

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Anlage des Os coxae wurde vom Auftreten des Blastems bis zum Beginn der Verknöcherung anhand von Schnittserien menschlicher Embryonen von 7 bis 47 mm SSL untersucht.

Im Stadium von 8 bis 10 mm SSL ziehen Blastemstränge von den sich auflösenden Somiten L_3 bis S_2 sowohl zu den Wirbelanlagen als auch in das Blastem, das die kaudale Extremitätenknospe erfüllt. Aus diesem Blastem entwickelt sich die Anlage des Os coxae. Die Verbindung dieser Anlage zur Wirbelsäule, die durch die Blastemstränge gegeben ist, bleibt vorübergehend nur auf der Höhe von S_2 bestehen, später erstreckt sie sich wieder von S_1 bis S_3 . Eine Verschiebung der Anlage des Os coxae entlang der Wirbelsäule findet nicht statt. In den Stadien zwischen 12 und 17 mm SSL entstehen in diesem Blastem die knorpeligen Anlagen der Ossa ilium et ischii et pubis. Diese verwachsen zwischen 17 und 22 mm SSL sukzessive miteinander mit Ausnahme des blastemgefüllten Einschnitts, der sich zwischen den Anlagen der Ossa ischii et pubis findet. Im Bereich dieses Einschnitts bilden sich die Incisura et Fossa acetabuli. Das Ligamentum inguinale wird nicht als Teil der Anlage des Os coxae gebildet, sondern entsteht aus der Bauchmuskelanlage, und zwar durch die Insertion des kaudalen Randes der Externusaponeurose am Tuberculum pubicum und an der Spina iliaca ant. sup. Diejenigen Stellen der Anlage des Os coxae, in welchen sich die ersten Verknorpelungsprozesse abspielen, sind mit den Stellen, an denen die Verknöcherung beginnt, nicht identisch. Spalträume, die in der Symphysenanlage um das Stadium von 40 mm SSL auftreten, betrachten wir als Artefakte. In Stadien von 25 bis 30 mm SSL, da mechanische Kräfte noch kaum wirksam sein können, ist die Form des knorpeligen Os coxae mit allen seinen Fortsätzen schon weitgehend ausgebildet. Deshalb schreiben wir mechanischen Faktoren zu diesem Zeitpunkt nur einen untergeordneten Einfluß auf die Formgestaltung zu.

Summary

The development of the anlage of the os coxae from the time of appearance of the blastema until the beginning of ossification was studied by means of serial sections of human embryos 7 to 47 mm CRL.

In the stage of 8 to 10 mm CRL cords of blastema from the dissolving somites L_3 to S_2 migrate to the vertebral anlage as well as in the blastema which comprise the caudal rudiments of the extremities. From this blastema the anlage of the os coxae develops. The union of this anlage with the vertebral column, which is pre-

sented through the cords of blastema, remains only temporarily at the level of S_1 , later it extends from S_1 to S_2 . A displacement of the anlage of the os coxae along the vertebral column does not occur. In the stages between 12 and 17 mm CRL the cartilaginous rudiments of the ossa ilium et ischii et pubis arise in this blastema. Between 17 and 22 mm CRL these grow together in succession, with the exception of the blastem-filled indentation situated between the rudiments of the ossa ischii et pubis. In the region of this indentation the incisura et fossa acetabuli are formed. The ligamentum inguinale is not formed as a derivative of the rudiment of the os coxae, but arises from the rudiments of the abdominal muscles, and indeed through the insertion of the caudal edge of the externus aponeurosis on the tuberculum pubicum and on the spina iliaca ant. sup. Those sites of the rudiments of the os coxae in which the first processes of chondrification take place are not identical with the sites at which ossification begins. We consider as artefacts the interstices which appear in the symphysis-anlage during the stage of 40 mm CRL. In the stages from 25 to 30 mm CRL, since mechanical forces can as yet hardly be effective, the form of the cartilaginous os coxae with all its appendages is already extensively developed. Therefore, up to this point, we ascribe mechanical factors only a subordinate influence upon the molding.

Résumé

Le développement de l'os iliaque fut étudié depuis le moment où son blastème se forme jusqu'à l'apparition de l'ossification. Coupes sériées d'embryons humains de 7-47 mm (longueur vertex-coccyx).

Aux stades de 8-10 mm on reconnaît des cordons du blastème au niveau des somites L_3 à S_3 , qui sont en voie de transformation; ils s'étendent aussi bien vers les ébauches des corps vertébraux que vers le blastème qui remplit le bourgeon de l'extrémité inférieure. C'est aux dépens de ces formations que se développe l'ébauche de l'os iliaque. Elle est rattachée de façon transitoire à l'ébauche de la colonne vertébrale par les cordons blastémateux jusqu'à la hauteur de S_2 ; plus tard, elle s'étend de nouveau de S_3 à S_2 . Un déplacement de l'ébauche de l'os iliaque le long de la colonne vertébrale n'est pas reconnu. Au cours des stades 12-17 mm, ce blastème développe les ébauches cartilagineuses des os iliaque, ischion et pubis. Aux stades 17-22 mm ces ébauches fusionnent successivement sauf l'incisure, comblée par du tissu blastémateux, qui sépare les ébauches de l'os ischion et de l'os pubis. A ce niveau se forment l'incisura et la fossa acetabuli. Le ligament inguinal n'est pas formé comme partie de l'ébauche de l'os iliaque, mais aux dépens de l'ébauche des muscles abdominaux, plus spécialement par l'insertion du bord caudal de l'aponevrose du muscle oblique externe à l'épine du pubis et à l'épine iliaque antérieure supérieure. Les points de l'ébauche de l'os iliaque où apparaissent les phénomènes initiaux de développement cartilagineux ne sont pas les mêmes que ceux qui présentent les premiers signes d'ossification. Des fissures rencontrées chez des embryons aux environs du stade 40 mm dans l'ébauche de la symphyse sont considérées comme artifices de préparation. Aux stades 25-30 mm, alors que l'action de forces mécaniques n'entre pas en ligne de compte, l'os iliaque cartilagineux se présente sous sa forme presque définitive avec tous ses prolongements. C'est pourquoi l'auteur admet que l'influence de facteurs mécaniques ne peut être que fort minime à ce moment pour expliquer la forme de cet os.

Literatur

- Adair, F.L.*: The ossification centers of the fetal pelvis. Amer. J. Obstet. Dis. Wom. 78: 175–199 (1918).
- Amprino, R. e Bairati, A.*: Studi sulle trasformazioni delle cartilagini dell'uomo nell'accrescimento e nella senescenza. Z. Zellforsch. 21: 448–482 (1934).
- Baer, J.P.*: Der funktionelle Bau der Symphyse im Embryonal- und Kindesalter auf Grund von Untersuchungen im polarisierten Licht. Acta anat. 7: 273–301 (1949).
- Bardeen, C.R.*: Studies of the development of the human skeleton. Amer. J. Anat. 4: 265–302 (1905).
- Bardeen, C.R. and Lewis, W.H.*: Development of the limbs, bodywall and back in man. Amer. J. Anat. 1: 1–36 (1901).
- Bernays, A.*: Die Entwicklungsgeschichte des Kniegelenkes des Menschen, mit Bemerkungen über die Gelenke im allgemeinen. Morph. Jb. 4: 403–446 (1878).
- Blechsmidt, E.*: Rekonstruktionsverfahren mit Verwendung von Kunststoffen. Z. Anat. EntwGesch. 118: 170–174 (1954). – Die vorgeburtlichen Entwicklungsstadien des Menschen (Karger, Basel/New York 1961).
- Brandt, W.*: Lehrbuch der Embryologie (Karger, Basel 1949).
- Brockmann, A.W.*: Wirbelsäule und Becken menschlicher Keimlinge in der Zeit des zweiten Embryonalmonats. Morph. Jb. 87: 370–438 (1942).
- Castellani, L.*: Contributo alla conoscenza dello sviluppo e della struttura della membrana otturatrice del bacino dell'uomo. Ric. Labor. Anat. Roma altri Labor. Biol. 13: 207–222 (1907); cit. Schwalbes Jber. Anat. EntwGesch. 14: 102 (1908).
- Corning, H.K.*: Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte des Menschen; 2. Aufl. (Bergmann, München 1925).
- Fehling, H.*: Die Form des Beckens beim Fötus und Neugeborenen und ihre Beziehung zu der beim Erwachsenen. Arch. Gynäk. 10: 1–80 (1876).
- Franceschini, M.*: Ricerche sull'architettura collagene dell'apparecchio capsulolegamentoso dell'articulatione interpubica nell'uomo. Z. Anat. EntwGesch. 118: 513–522 (1955).
- Frazer, J.E.*: Anatomy of the Skeleton (Churchill, London 1920).
- Gardner, E. and Gray, D.J.*: Prenatal development of the human hip joint. Amer. J. Anat. 87: 163–212 (1950).
- Gatta, R.*: Osservazioni sulla struttura e sullo sviluppo della sinfisi pubica. Arch. ital. Anat. Embriol. 33: 813–843 (1934).
- Gegenbaur, C.*: Über den Ausschluß des Schambeins von der Pfanne des Hüftgelenkes. Morph. Jb. 2: 229–240 (1876).
- Hagen, W.*: Die Bildung des Knorpelskelets beim menschlichen Embryo. Arch. Anat. Physiol., anat. Abt. pp. 1–40 (1900).
- Haines, R.W.*: The development of joints. J. Anat., Lond. 81: 33–55 (1947).
- Hamilton, W.J.; Boyd, J.D. and Mossman, H.W.*: Human Embryology; 3rd Ed. (Heffer, Cambridge 1962).
- Hell, K.*: Anwendung ausgewählter histochemischer Reaktionen zum Studium der Binde- und Stützgewebisdifferenzierung am unentkalkten Knochenschnitt. Acta anat. 51: 177–197 (1962).

- Kaufmann, H. J.*: Röntgenbefunde am kindlichen Becken bei angeborenen Skelett-affektionen und chromosomalen Aberrationen. Fortschr. Röntgenstr., 93. Erg. Bd. (Thieme, Stuttgart 1964).
- Krutsay, M.*: Methode zur Darstellung einzelner Kalziumverbindungen in histologischen Schnitten. Acta histochem. 15: 189–191 (1963).
- Laurenson, R. D.*: The chondrification of the human ilium. Anat. Rec. 148: 197–202 (1964). – The primary ossification of the human ilium. Anat. Rec. 148: 209–218 (1964).
- Lison, L.*: Histochemie et Cytochimie Animales; 2eEd. (Gauthier-Villars, Paris 1953).
- Ludwig, K. S.*: Über die Beziehungen der Kloakenmembran zum Septum urorectale bei menschlichen Embryonen von 9 bis 33 mm SSL. Z. Anat. EntwGesch. 124: 401–413 (1965).
- Luschka, H.*: Die Kreuzdarmbeinfuge und die Schambeinfuge des Menschen. Arch. path. Anat. 7: 299–316 (1854).
- Mehnert, E.*: Untersuchungen über die Entwicklung des Beckengürtels bei einigen Säugetieren. Morph. Jb. 15: 97–112 (1889).
- Patten, B. M.*: Human Embryology; 2nd Ed. (Blakiston, New York 1953).
- Pearse, A. G. E.*: Histochemistry; 2nd Ed. (Churchill, London 1961).
- Petersen, H.*: Untersuchungen zur Entwicklung des menschlichen Beckens. Arch. Anat. Physiol., anat. Abt. pp. 67–96 (1893).
- Romeis, B.*: Mikroskopische Technik; 15 Aufl. (Oldenbourg, München 1948).
- Rosenberg, E.*: Über die Entwicklung der Wirbelsäule und das Centrale carpi des Menschen. Morph. Jb. 1: 83–197 (1876a). – Mündl. Mitteilung (1876b) cit. Gegenbaur (1876).
- Schaffer, J.*: Die Stützgewebe; in v. Möllendorffs Hb. d. mikr. Anat. d. Menschen, vol. 2/II, pp. 1–390 (Springer, Berlin 1930).
- Schwarzenbach, E.*: Die Entwicklung des Knorpelbeckens im zweiten Fötalmonat auf Grund von sieben Beckenmodellen. Z. Geburtsh. Gynäk. 72: 346–399 (1912).
- Souri, S. J.*: The antenatal development of the human pelvis in relation to sex dimorphism. Proc. indian Acad. Sci. (Bangalore), Section B, 48: 284–296 (1958).
- Streeter, G. L.*: Developmental horizons in human embryos. Age groups XI and XII. Contrib. Embryol. Carneg. Inst. 30: 211–245 (1942); Age groups XIII and XIV; 31: 27–63 (1945); Age groups XV, XVI, XVII and XVIII; 32: 133–203 (1948). – A review of the histogenesis of cartilage and bone. Contrib. Embryol. Carneg. Inst. 33: 149–167 (1949).
- Theiler, K.*: Über die Differenzierung der Rumpfmotome beim Menschen und die Herkunft der Bauchwandmuskeln. Acta anat. 30: 842–864 (1957).
- Ulloa, I.*: Über die embryonale und fötale Entwicklung des Gefäß-Systems des proximalen Femures und Acetabulum des Menschen. Z. Orthop. 96: 306–323 (1962).
- Veit, J.*: Die Entstehung der Form des Beckens. Z. Geburtsh. Gynäk. 9: 347–372 (1883).
- Winckler, G.*: Etude sur la fixation pelvienne des muscles larges de l'abdomen chez l'homme. Arch. Anat. Histol. Embryol. 32: 1–10 (1949). – Remarques sur la région inguino-abdominale. C. R. Ass. Anat. 44: 869–875 (1958).
- Zulauf, C.*: Die Höhlenbildung im Symphysenknorpel. Arch. Anat. Physiol., anat. Abt. pp. 95–116 (1901).

Eingegangen, 5. Mai 1965